汽爆与汽爆后发酵对棉花秸秆营养价值的影响

张志军[1]　郭同军[1*]　赵　洁[2]　桑断疾[1]　石　勇[3]　崔继文[3]

（1.新疆畜牧科学院饲料研究所，乌鲁木齐 830000；2.新疆巴州草原工作站，库尔勒 841000；3.新疆弘瑞达纤维有限公司，库尔勒 841000）

摘　要：本试验旨在研究汽爆及汽爆后发酵对棉花秸秆营养价值的影响。试验分别将棉花秸秆未处理（对照组）、粉碎（S组）、汽爆（SE组）、汽爆后发酵（SEF组），采用多点采样和四分法收集样品，检测棉花秸秆的总能（GE）、粗蛋白质（CP）、粗脂肪（EE）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）、木质素（ADL）、灰分（Ash）、钙（Ca）、磷（P）以及游离棉酚（FG）含量，并通过计算粗饲料分级指数（GI），综合评价不同处理对棉花秸秆营养价值的影响。结果表明：1）SE组和SEF组棉花秸秆CP含量较S组提高分别了10.79%和14.60%（P<0.01）；SEF组棉花秸秆CP含量较对照组提高了5.40%（P<0.05）。S组、SE组、SEF组棉花秸秆EE含量较对照组分别提高了29.29%、61.09%、59.83%（P<0.01），SE组和SEF组棉花秸秆EE含量较S组分别提高了24.60%和23.62%（P<0.01）。SEF组棉花秸秆的GE最高，较SE组、S组和对照组分别提高了7.89%、24.56%、10.27%（P<0.01）。2）与S组相比，SE组、SEF组棉花秸秆NDF和ADF含量分别提高了10.83%、9.85%和23.94%、14.52%（P<0.01）；S组棉花秸秆ADL含量最高，SE组次之，SEF组最低，各组之间差异极显著（P<0.01）。3）经过不同处理，棉花秸秆中FG含量变化极显著（P<0.01），SEF组最低。SEF组和SE组GI值较对照组分别提高了11.60%（P<0.01）、11.58%（P<0.05），S组GI值较对照组提高了2.11%（P>0.05）。综上所述，汽爆与汽爆后发酵处理可改善棉花秸秆的营养价值，降低棉花秸秆ADL和FG含量，其中汽爆后发酵的效果最好。

关键词：棉花秸秆；汽爆；发酵；营养价值；木质素；游离棉酚

中图分类号：　　　　　　　　文献标识码：　　　　　　　　文章编码：

作为新疆农业支柱产业之一的棉花种植业，2013 年棉花秸秆总量近 800 万 t。据魏敏[1]

收稿日期：2018-01-19

基金项目：新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目（2016D01A002）；新疆维吾尔自治区科研院所基本科研业务经费资助项目；自治区科研机构创新发展专项资金（2016D04018）

作者简介：张志军（1985—），男，山西阳高人，硕士，助理研究员，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: 249704369@qq.com

*通信作者：郭同军，副研究员，E-mail: guotaoxj@126.com

测定，新疆奎屯地区棉花秸秆中粗蛋白质（CP）含量为6.5%、木质素（ADL）含量为15.2%、纤维素含量为44.1%、半纤维素含量为10.7%、钙（Ca）含量为0.65%、磷（P）含量为0.09%、游离棉酚（FG）含量为0.03%，具有作为动物粗饲料来源的良好开发潜力。尽管棉花秸秆CP含量高于麦秸和稻秆，但其木质化程度较高，另外含有有毒的FG，且适口性差，增加了棉花秸秆饲料化利用的难度。如果通过处理降低棉花秸秆的ADL和FG含量将大大提高其饲料化利用率，进而可缓解新疆饲草料短缺问题。玉米秸秆、麦秸、稻秆等粗饲料有水泡、氨化、碱化以及生物发酵等处理方法，不同的方法对不同秸秆的作用效果有所不同[2-5]。近年来，学者对农作物秸秆汽爆处理研究有所进展。汽爆可以降低秸秆的纤维素、半纤维素以及ADL含量[6-8]；稻草、桉树、谷物秸秆进行汽爆处理后进行瘤胃液体外发酵处理，提高了其在反刍动物瘤胃中的消化率[9-11]。本试验将棉花秸秆用汽爆和固态发酵技术联合处理，利用汽爆过程中高温高压作用来破坏细胞壁，打开ADL和半纤维素的共价键，以释放纤维素和半纤维素，使营养物质裸露，然后添加菌剂对其进行固态发酵以利于微生物降解，增加动物对棉花秸秆的消化利用率。本试验通过测定饲料常规营养成分，评价这种物理和生物联合作用的效果，进而为制作营养价值高的棉花秸秆饲料和今后动物对其的利用提供必要理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用棉花秸秆采自新疆巴州，由棉花秸秆收获机械收获，长度为10 cm左右，风干棉花秸秆的水分含量为10.4%。试验发酵所用的活性杆菌来自于海星资环秸秆发酵剂，其主要成分为枯草芽孢杆菌（*Bacillus subtilis*）、植物乳杆菌（*Lactobacillus plantarum*）、酿酒酵母（*Saccharomyces cerevisiae*）等，其中活性菌的数量可达200亿个/g。

1.2 棉花秸秆的汽爆处理

棉花秸秆的处理在新疆弘瑞达纤维有限公司进行。根据汽爆棉花秸秆生产流程，先将粉碎至2~3 cm棉花秸秆进行加水浸润，当水分含量达40%时，采用蒸汽爆破设备将棉花秸秆通过进料装置送入膨化脱糖脱毒机（ZL2014208627577），通入水蒸汽使压力达到2.5 MPa，220 ℃时维压2～3 min，然后瞬间释压，使物料在自然压差条件下快速膨化并喷入收集罐中，由收集罐排出的膨化料依次通过出料绞龙、出料提升机，然后送入逆流冷却器进行冷却。

对需要发酵的棉花秸秆按比例每吨喷洒含发酵剂的水（发酵剂:水=1 g:350 kg）约 500 kg，调节水分含量达 60%~65%，利于发酵。

1.3 采样方法

1）未处理的棉花秸秆（对照组，CK）：从待处理的棉花秸秆原料堆中，采用五点法进行样品采集，先确定对角线的中点作为中心样点，再在对角线上选择 4 个与中心样点距离相等的点作为样点，分别采集 1 kg 样品，将收集的 5 kg 样品混合后，四分法取样 1 kg，-20 ℃密封保存待检，试验共分 3 批采集样品。

2）粉碎棉花秸秆（S 组）：将 1）采集的棉花秸秆用粉碎机进行粉碎，粉碎后的棉花秸秆长度约为 2~3 cm，采集未进汽爆仓的粉碎棉花秸秆样品各 0.5 kg，-20 ℃密封保存待检，取样方法同 1)，且与 1）对应采集 3 批样品。

3）汽爆棉花秸秆（SE 组）：将 2）中粉碎的棉花秸秆进行汽爆处理，汽爆结束后冷却，从汽爆仓中取样，-20 ℃密封保存待检，取样方法同 1)，且与 1）对应采集 3 批样品。

4）汽爆后发酵棉花秸秆（SEF 组）：3）中汽爆后的棉花秸秆经冷却后，添加 1%的短活性杆菌，装入厌氧袋中，排出空气后密封，发酵温度不能低于 15 ℃，发酵 45 d 后取样，-20 ℃密封保存待检，取样方法同 1)，且与 1）对应采集 3 批样品。

1.4 指标检测

1.4.1 常规营养成分

将样品带回实验室，分析干物质（DM）、总能（GE）、CP、粗脂肪（EE）、酸性洗涤纤维（ADF）、中性洗涤纤维（NDF）、ADL、灰分、Ca 和 P 的含量。CP 含量采用 GB/T 6432—94 凯式定氮法测定，仪器为海能 K1100。EE 含量采用 GB/ T6433—2006 石油醚浸提法测定，仪器为索氏提取仪。Ca 含量采用 GB/T 6436—2002 原子吸收法测定，仪器为东西电子原子吸收仪 7000。P 含量采用 GB/T 6437—2002 分光光度法测定，仪器为分光光度计 GC2010。NDF 和 ADF、ADL 含量采用 GB/T 20806—2006，NY/T 1459—2007，GB/T 2080—2006 消煮法测定。水分含量采用 GB/T 6435—1986 方法测定。灰分含量采用 GB/T 6438—2007 方法测定。GE 采用燃烧法测定，仪器为量热仪 OR2014.

1.4.2 粗饲料分级指数

粗饲料分级指数（GI）是我国动物营养学家卢德勋先生 2001 年提出的评定粗饲料品质

的科学指标。

GI=ME×DMI×CP/NDF。

式中：ME 为粗饲料代谢能（MJ/kg），在奶牛上使用 NE_L；DMI 为粗饲料干物质自由采食量（kg）；CP 为粗蛋白质含量（%DM）；NDF 为中性洗涤纤维含量(%DM)。其中 DMI 校正为 40 kg 标准体重绵羊的 DMI（1.4 kg/d），ME 参照刘洁[12]公式 ME（MJ/kg DM）=3.866+0.285×CP（%DM）计算，其他数据为实测值，计算时需由风干基础转化成 DM 基础后计算。

1.4.3 游离 FG 含量

饲料样品采用具有水循环制冷的 FOSS MILL 打碎后送至第三方检测机构采用 GB/T 13086-1991 方法检测 FG 含量。

1.5 统计分析

数据采用 Excel 2007 进行初步整理，采用 SAS 9.0 GLM 模型进行单因素方差分析，多重比较采用 Tdiff 法进行，差异显著性标准为 $P<0.01$ 为差异极显著，$P<0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 汽爆和汽爆后发酵处理对棉花秸秆常规营养成分的影响

由表 1 可知，SE 组和 SEF 组棉花秸秆 CP 含量较 S 组分别提高了 10.79%和 14.60%（$P<0.01$）；与对照组相比，SEF 组棉花秸秆 CP 含量也显著提高了 5.40%（$P<0.05$）。S 组、SE 组、SEF 组棉花秸秆 EE 含量较对照组分别提高了 29.29%、61.09%、59.83%（$P<0.01$），SE 组和 SEF 组棉花秸秆 EE 含量较 S 组也分别显著提高了 24.60%和 23.62%（$P<0.01$）。各组之间棉花秸秆 Ca、P 含量变化幅度不大，其中 SEF 组的含量较高，SE 组较低，另外，SEF 组棉花秸秆灰分含量亦最高，S 组最低。SEF 组棉花秸秆的 GE 最高，较 SE 组、S 组和对照组分别提高了 7.89%、24.56%、10.27%（$P<0.01$）。

表 1 汽爆和汽爆后发酵处理对棉花秸秆常规营养成分的影响 (干物质基础)

Table 1 Effects of steam explosion and fermentation after steam explosion on routine nutrient ingredients of cotton stalk (DM basis) %

项目 Items	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value
	对照 CK	S	SE	SEF		

粗蛋白质 CP	6.85^{Ab}	6.30^{Bc}	6.98^{Aa}	7.22^{Aa}	0.068	<0.0001
粗脂肪 EE	2.39^{Cc}	3.09^{Bb}	3.85^{Aa}	3.82^{Aa}	0.038	<0.0001
钙 Ca	0.59^{Cc}	0.66^{Bb}	0.48^{Dd}	1.23^{Aa}	0.008	<0.0001
磷 P	0.19^{Bb}	0.18^{Bb}	0.12^{Cc}	0.23^{Aa}	0.003	<0.0001
粗灰分 Ash	7.77^{ABab}	6.84^{Bb}	7.95^{ABab}	8.17^{Aa}	0.091	0.002
总能 GE/(MJ/kg)	16.74^{Cc}	14.82^{Dd}	17.11^{Bb}	18.46^{Aa}	1.856	<0.0001

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P＞0.05)，不同小写字母表示差异显著(P＜0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P<0.01)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (P<0.01). The same as below.

2.2 汽爆和发酵处理对棉花秸秆纤维素含量的影响

与 S 组相比，SE 组、SEF 组棉花秸秆 NDF 和 ADF 含量分别提高了 10.83%、9.85%和 23.94%、14.52%（P<0.01）；S 组棉花秸秆 ADL 含量最高，SE 组次之，SEF 组最低，各组之间差异极显著（P<0.01）。

表 2 汽爆和发酵处理对棉花秸秆纤维素含量的影响 (干物质基础)

Table 2 Effects of steam explosion and fermentation after steam explosion on fiber content of cotton stalk (DM basis) %

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value
	对照 CK	S	SE	SEF		
中洗洗涤纤维 NDF	58.86^{Aa}	51.69^{Cc}	57.29^{Bb}	56.78^{Bb}	0.100	<0.0001
酸洗洗涤纤维 ADF	40.60^{Cc}	36.84^{Dd}	45.66^{Aa}	42.19^{Bb}	0.187	<0.0001
酸性洗涤木质素 ADL	26.62^{Cc}	30.59^{Aa}	28.82^{Bb}	22.51^{Dd}	0.008	<0.0001

2.3 汽爆和汽爆后发酵处理对棉花秸秆 FG 含量和 GI 值的影响

由表 3 可知，经过不同处理，棉花秸秆中 FG 含量变化极显著（P<0.01），SEF 组达到断奶后反刍动物的安全限量（200 mg/kg）以下[13]。处理后的棉花秸秆 GI 值也有提高，其中

SEF 组和 SE 组 GI 值较对照组分别提高了 11.60%（$P<0.01$）、11.58%（$P<0.05$），S 组 GI 值较对照组提高了 2.11%，差异不显著（$P>0.05$）。

表 3　汽爆和汽爆后发酵处理对棉花秸秆 FG 含量和 GI 值的影响(干物质基础)

Table 3　Effects of steam explosion and fermentation after steam explosion on GF content and GI value of cotton stalk (DM basis)

项目 Items	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value
	对照 CK	S	SE	SEF		
游离棉酚 FG/（mg/kg）	483.6^{Aa}	309.45^{Bb}	205.16^{Cc}	95.22^{Dd}	2.265	<0.0001
GI 值	0.95^{c}	0.97^{c}	1.00^{b}	1.06^{a}	0.013	0.014

3　讨　论

3.1　汽爆及汽爆后发酵对棉花秸秆营养价值的影响

汽爆处理主要通过高温高压的爆破作用使底物发生化学的改变，同时亦可改变物理结构，发酵则是通过微生物作用来促进纤维素的降解利用和其他营养物质的合成。和立文等[14]对玉米秸秆、麦秸、稻秆进行了汽爆处理，其中玉米秸秆 CP 含量提高了 0.45%，麦秸和稻秆分别降低了-0.8%、-0.1%。另外，蒸汽爆破处理可造成 DM 损失，进而相对提高了粗灰分、CP 和 EE 在 DM 中的含量，但也造成中性洗涤不溶氮（NDIN）和酸性洗涤不溶氮（ADIN）含量的增加[15-17]。本试验中棉花秸秆汽爆处理后，CP 含量较仅粉碎的棉花秸秆提高了 10.79%，汽爆后再发酵的棉花秸秆 CP 含量增加了 14.60%，说明汽爆且发酵处理可以提高棉花秸秆 CP 含量，汽爆处理和汽爆后发酵处理还使得棉花秸秆粗灰分、Ca、P 含量都有所增加，这与和立文等[14]的研究结果类似。汽爆过程可使脂肪细胞破裂，溢出的脂肪与淀粉基质结合，形成脂肪-淀粉复合物，减少了脂肪的变质，利于脂肪的储存[18]。本试验中，与粉碎棉花秸秆相比，汽爆和汽爆后发酵显著提高了棉花秸秆 EE 含量和 GE。汽爆后，伴随着木质结构的解构，纤维素和半纤维素更加有利于微生物的附着和消化酶的作用，同时，高温高压可将秸秆部分营养成分降解为可溶性糖、有机酸等物质，有利于微生物的繁殖和动物的消化利用[19-20]。

3.2　汽爆及汽爆后发酵对棉花秸秆纤维素含量的影响

稻秆的细胞壁主要成分为 ADL，通过与少量淀粉、果胶以及蛋白的牢固结合，难以被

动物消化利用，且对其他营养物质的降解率产生副作用。如果能通过破坏木质结构，达到释放营养物质和降低 ADL 含量的效果，则可提高动物对秸秆的利用效率。与粉碎处理相比，单独对棉花秸秆进行蒸汽爆破可能对 ADL 的降解效果并不是特别理想，本试验汽爆棉花秸秆 ADL 含量仅降低了 5.79%，但通过汽爆后发酵，ADL 含量降低了 26.41%，汽爆处理对 NDF 和 ADF 含量影响较小，变化幅度不大。不同的秸秆其汽爆处理的效果不尽一致。经过蒸汽爆破处理的芦苇纤维素含量可增加 19.2%，ADL 含量降低 5.5%，还原糖含量提高 4.51%[21]，郑丽丽等[22]对香蕉叶进行蒸汽爆破处理，结果发现其 ADL 含量由 14.62%降至 6.52%，降解率为 55.40%。另外，在 2.5 MPa 的压力下进行 200 s 的爆破处理的玉米秸秆纤维素、半纤维素、ADL 含量分别降低 26.44%、82.99%、35.12%[23]。通过蒸汽爆破，可打破 ADL 与纤维素等物质的结合，有利于增加纤维内部的表面积，微生物对底物接触点也大大增加，方便微生物接触底物进行降解作用，同时蒸汽爆破产生部分还原糖，为微生物的生长提供了碳源，促进了微生物的生长代谢，进而促进关键酶类降解 ADL。

3.3　汽爆及汽爆后发酵对棉花秸秆 FG 含量的影响

本试验结果表明，汽爆后发酵不仅提高了棉花秸秆的 GI 值，还降解了大部分的 FG 含量，为动物有效利用棉花秸秆扫清了障碍。钟英长等[4]分离了 5 种微生物菌类，其对未经榨油的棉籽仁粉的微生物脱毒率达 60%~74%；王清华等[24]研究表明，固定蒸汽爆破压强为 2.0 MPa 时，适宜的水料比为 30%，适宜维压时间为 30 s，棉籽粕中 FG 含量达 85.0 mg/kg，脱毒率达 87.0%。经过不同处理，棉花秸秆中 FG 含量变化极显著，SEF 组达到断奶后反刍动物的安全限量（200 mg/kg）以下[13]，说明通过汽爆和发酵联合处理棉秆可基本解除棉秆中 FG 的毒害。

4　结　论

① 经过汽爆后发酵的棉花秸秆ADL含量最低，降解效果最好。

② 经过汽爆后发酵的棉花秸秆FG的降解效果最好，为95 mg/kg，低于成年反刍动物饲料安全标准200 mg/kg。

③ 经过汽爆后发酵的棉花秸秆的GI值最高。

参考文献：

[1]　魏敏,雒秋江,潘榕,等.对棉花秸秆饲用价值的基本评价[J].新疆农业大学学

报,2003,26(1):1–4.

[2] 杨胜.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:北京农业大学出版社,1999:58–63.

[3] 李大鹏.玉米秸秆青贮饲料添加剂的研究[J].粮食与饲料工业,2002(5):29–30.

[4] 钟英长,吴玲娟.利用微生物将棉籽中游离棉酚脱毒的研究[J].中山大学学报:自然科学版,1989,28(3):67–72.

[5] 陈翠微,刘长江,郭文洁,等.微生物发酵农作物秸秆生产蛋白饲料的研究与应用[J].微生物学通报,2000,27(4):291–293.

[6] ZHANG L H,LI D,WANG L J,et al.Effect of steam explosion on biodegradation of lignin in wheat straw[J].Bioresource Technology,2008,99(17):8512–8515.

[7] CHANG J, CHENG W, YIN Q Q,et al.Effect of steam explosion and microbial fermentation on cellulose and lignin degradation of corn stove[J].Bioresource Technology,2012,104:587–592.

[8] 王玉,周俊,雍晓雨,等.汽爆预处理对水稻秸秆纤维结构的影响[J].江苏农业科学,2014,43(11):319–324.

[9] LIU J X,ØRSKOV E R.Cellulase treatment of untreated and steam pre-treated rice straw-effect on *in vitro* fermentation characteristics[J].Animal Feed Science and Technology,2000,88(3/4):189–200.

[10] DE CASTRO F B,PAIVA T C B,ARCARO I,Jr.Substitution of sugar cane with steam-treated eucalyptus (*Eucalyptus grandis*):effects on intake and growth rate of dairy heifers[J].Animal Feed Science and Technology,1995,52(1/2):93–100.

[11] VIOLA E,ZIMBARDI F,CARDINALE M,et al.Processing cereal straws by steam explosion in a pilot plant to enhance digestibility in ruminants[J].Bioresource Technology.2008,99(4):681–689.

[12] 刘洁.肉用绵羊饲料代谢能与代谢蛋白质预测模型的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2012.

[13] 卢智文.日粮中棉酚含量计算方法及安全限量[J].中国饲料,1996(24):33–34.

[14] 和立文,孟庆翔,李德勇,等.体外法评价汽爆处理对常见秸秆饲料品质的影响[J].中国农

业大学学报,2016,21(9):90–96.
[15] De Castro F B.The use of steam treatment to upgrade lingo cellulosic materials for animal feed[D].Aberdeen:University of Aberdeen,1994.
[16] LIU J K,ORSKOV E R,CHEN X B.Optimization of steam treatment as a method for upgrading rice straw as feeds[J].Animal Feed Science and Technology,1999,76(3/4):345–357.
[17] 赵永锋.汽爆处理对秸秆化学成分、瘤胃降解率、肉牛生长性能和胴体品质的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业大学,2014.
[18] THOMAS M,VAN DER A F B.Effects of expander processing on the chemical, physical and hygienic quality of feed:effects on the physical quality of feed[C]//Expander Processing of Animal Feeds Chemical,Physical and Nutritional Effects.Wageningen:Wageningen Feed Processing Centre,1997:31–38.
[19] FORSBERG C W, FORANO E,CHESSON A,et al.Microbial adherence to the plant cell wall and enzymatic hydrolysis[M]//CRONJEN P B.Ruminant physiology digestion,metalbolism,growth and reprducion.Wallingford:CABI Publishing,2000:79–97.
[20] SARKAR N,GHOSH S K,BANNERJEE S,et al.Bioethanol production from agricultural wastes:an overview[J].Renewable Energy,2012,37(1):19–27.
[21] 韩士群,杨莹,周庆,等.蒸汽爆破对芦苇纤维及其木塑复合材料性能的影响[J].南京农业大学学报,2017,41(1):136–142.
[22] 郑丽丽,韩冰莹,盛占武,等.蒸汽爆破预处理降解香蕉茎秆纤维素组分的研究[J].热带农业科学,2014,34(11):84–88.
[23] 韩浩然,常娟,尹清强,等.蒸汽爆破和化学处理对玉米秸秆化学成分的影响[J].江苏农业科学,2017,45(8):166–168.
[24] 王清华,贺永惠,鲁红伟,等.蒸汽爆破技术对棉籽粕中游离棉酚脱毒效果研究[J].动物营养学报,2016,28(2):524–530.

Effects of Steam Explosion and Fermentation after Steam Explosion on Nutrient Value of Cotton Stalk

ZHANG Zhijun[1] GUO Tongjun[1*] ZHAO Jie[2] SANG Duanji[1] SHI Yong[3] CUI Jiwen[3]

(1. *Feed Research Institute Xinjiang Academy of Animal Science*, *Urumqi* 830000, *China*; *2. Mongolian Autonomous Prefecture of Bayingolin Grassland supervision station*, *Korla* 841000, *China; 3. Xinjiang Hong Ruida Fiber Limited company*, *Korla* 841000, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of steam explosion and fermentation after steam explosion on nutrient value of cotton stalk. Cotton stalk were un-treated (control, CK group), smashed (S group)、steam exploded (SE group) and fermented after steam explosion (SEF group), and collected by multipoint sampling and four division method. Total energy (GE), crude protein (CP), ether extract (EE), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), acid detergent lignin (ADL), ash, Ca, P, and free gossypol (FG) contents were detected, and graded index (GI) value was calculated to evaluate the effects of processing method on nutrient value of cotton stalk. The results showed as follows: 1) compared with S group, the CP content of cotton stalk in SE and SEF groups was increased by 10.79% and 14.60%, respectively (P<0.01); compared with the CK group; the CP content of cotton stalk in SEF group was increased by 5.40% (P<0.05). Compared with the CK group, the EE content of cotton stalk in S, SE and SEF groups was increased by 29.29%, 61.09%, 59.83%, respectively （P<0.01）; compared with S group, the EE content of cotton stalk in SE and SEF groups was increased by 24.60%, 23.62% （P<0.01）. The GE of cotton stalk in SEF group was the highest, and was higher than that in SE, S and CK groups by 7.89%, 24.56%, 10.27%, respectively （P<0.01）. 2) Compare with S group, the contents of NDF and ADF of cotton stalk in SE and SEF groups were increased by 10.83%, 9.85% and 23.94%,14.52%, respectively (P<0.01); the content of ADL of cotton stalk in S group was the highest, followed by SE group, the SEF group was the lowest, and there was significant difference among groups (P<0.01). 3) The content of FG of cotton stalk changed significantly with different processing methods （P<0.01）, and SEF group was the lowest. The GI value in SEF and SE

groups was increased by 11.60% （$P<0.01$）,11.58% （$P<0.05$）, respectively; the GI value in S group was increased by 2.11% when compared with CK group （$P>0.05$）. In conclusion, steam explosion and fermentation after steam explosion can improve nutrient value of cotton stalk, decrease the contents of FG and ADL, and the effect of fermentation after steam explosion is the best.

Key words: cotton stalk; steam explosion; fermentation; nutrient value; acid detergent lignin; free gossypol

* Corresponding author, associate professor, E-mail: guotaoxj@126.com (责任编辑 陈 鑫)